DOI: http://dx.doi.org/10.22092/aj.2016.106738

نشریه زراعت شماره ۱۰۹، زمستان ۱۳۹۴

(پژوهش و سازندگی)

بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری و زیر شکنی بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه ای

- کرامت اخوان، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)
- محمدرضا شیری، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
- رضا عادل زاده، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: آبان ماه ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۹۳

پست الکترونیک نویسنده مسئول: AKHAVAN120@YAHOO.COM

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی‌کاهش فشردگی خاک و تعداد آبیاری و در نتیجه افزایش کارایی مصرف‌آب گیاه ذرت در قالب آزمایش اسپلیت بلوک (استریپ پلات) در پایه بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال های ۱۳۸۳-۱۳۸۵ به مدت سه سال در منطقه مغان اجرا شد. عامل زیرشکنی در سه سطح زیر شکنی ۴۰ و۶۰ سانتی متر و بدون زیرشکنی‌در نوار عمودی و عامل آبیاری در سه سطح I_1، I_2 وI_3 (به ترتیب آبیاری پس از۸۰، ۱۰۰ و۱۲۰ میلی متر تبخیر از طشتک‌کلاس A) در نوار افقی قرار گرفت. نتایج نشان‌داد که اختلاف عملکرد دانه در سطوح مختلف زیرشکنی و رژیم‌های مختلف آبیاری از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی داری ولی اثر متقابل این دو عامل از نظر آماری‌غیرمعنی‌دار بود. تیمارهای زیرشکنی به عمق ۶۰ و ۴۰ سانتی متر به ترتیب با ۱۲/۵ و ۱۲/۳ تن در هکتار بالاترین و تیمار بدون زیرشکنی با ۱۱/۱۵ تن در هکتار پایین ترین عملکرد را داشتند. بیشترین عملکرد دانه (۱۲/۶۸ تن در هکتار) مربوط به رژیم آبیاری I_2 و کمترین عملکرد(۱۰/۷۸ تن در هکتار) مربوط به رژیم آبیاریI_3 بود. میزان افزایش عملکرد تیمارهای زیرشکنی به عمق ۶۰ و۴۰ سانتی متر نسبت به تیمار بدون‌زیرشکنی متفاوت بود. به طوری که این افزایش در تیمار آبیاری I_1 به ترتیب ۸/۴۰ و ۳/۰۵ درصد بود. تجزیه واریانس شاخص مخروط در عمق های مختلف خاک نشان داد تاثیر زیرشکنی بر این شاخص از نظر آماری معنی آماری بود و زیرشکنی باعث بهبود شاخص مخروط شده است. به طور کلی کارایی زیر شکنی در تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بوده و در صورت کمبود آب و افزایش فاصله آبیاری کارآیی زیرشکنی نیز افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: آبیاری، زیرشکنی، ذرت، عملکرد و مغان

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:108 pp: 19-28

The effects of sub soiling and irrigation regimes on yield and yield components of maize

By:

- *K. Akhavan, (Corresponding Author), Researcher of Agriculture and Natural Resources Research Center of Ardabil*
- *M. Shiri ,Researcher of Agriculture and Natural Resources Research Center of Ardabil*
- *R. Adelzadeh , Researcher of Agriculture and Natural Resources Research Center of Tabriz*

Received: October 2009 **Accepted: February 2015**

This study was conducted to determine the effects of sub soiling and irrigation regimes on maize yield. Three sub soiling depth include S_0 (without sub soiling), S_1 (sub soiling at 40 cm depth) and S_2 (sub soiling at 60 cm depth) and three irrigation regimes include I_1(Irrigation of after 80 mm evaporation from A class pan) I_2 (100 mm evaporation from A class pan) I_3 (120 mm evaporation from A class pan) were compared based on split block design with four replication. The results showed that there was significant difference among irrigation regimes and subsoling levels at 1% probability level from point of yield, while irrigation × subsoling nitration effect wasn't significant. The highest and lowest grain yield was obtained from subsoling (at 40 and 60 cm depth with 12.3 and 12.5 t ha^{-1}, respectively) and non-subsoling (with 11.15 t ha^{-1}) treatments, respectively. The mean comparison of the grain yield regimes showed that I_2 irrigation with 12.68 t ha^{-1} had highest grain yield while I_3 regime with 10.78 t ha^{-1} had lowest grain yield. The grain yield increasing in subsoling at 40 and 60 cm depth than non subsoling treatment was 3.05 and 8.40 percent, respectively. Subsoling efficiency was different in different irrigation regimes. The water use efficiency increased with subsoiling.

key Words: Irrigation, Sub soiling, Maize, Yield and Moghan

مقدمه

ذرت، گیاهی با سیستم ریشه ای قوی امکان استفاده از آب ذخیره شده در خاک را داراست. با این حال، تردد ماشین آلات و ادوات کشاورزی باعث فشرده شدن خاک شده و توسعه ریشه را محدود و تهیه آب و مواد غذایی برای گیاه را کاهش می‌دهد. مکانیزه شدن کشاورزی، تردد بیش از حد ادوات و ماشین آلات و استفاده از گاوآهن برگردان دار در عمق ثابت در طی سال های متمادی در منطقه مغان باعث فشرده شدن لایه های زیرین خاک گشته است. فشرده شدن خاک عبارتست از کم شدن مقدار کل خلل و فرج خاک مخصوصا خلل و فرج درشت(خلل و فرج تهویه‌ای) به نحوی که باعث ایجاد محدودیت در تهویه خاک و در نهایت رشد گیاه می شود(۲). فشرده شدن خاک به طور معمول در دو ناحیه اتفاق می‌افتد یکی در سطح خاک، در عمل این فشردگی هنگام عملیات بعدی تهیه بستر و به عبارت دیگر با شخم از بین می رود، ناحیه دوم که بیشتر مورد نظر است در ناحیه پایین‌تر از فعالیت ادوات خاک ورزی (بیشتر گاو آهن) که اصطلاحاً به آن فشردگی زیرین یا لایه‌های سخت زیرین گفته می شود، اتفاق می افتد. فشرده شدن خاک در این ناحیه اثر نامطلوبی در رشد و توسعه ریشه دارد و موجب کاهش نفوذ پذیری خاک نسبت به هوا و آب و همچنین ریشه می شود(۲). بنابراین، در چنین شرایطی مطالعه اثرات زیر شکنی در کاهش تراکم خاک و از بین رفتن لایه سخت امری ضروری به نظر می‌رسد و انجام چنین تحقیقاتی منجر به افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب خواهد گردید.

خلیلی و محمدی (۱۳۸۱) نشان دادند که عملکرد ذرت دانه‌ای ۷۰۴ در تیمارهای زیر شکنی در اعماق (۵۵ و ۴۵ سانتی متر) بطور معنی‌داری نسبت به تیمار بدون زیر شکنی افزایش یافت(۱۴). نتیجه مشابهی را در سال ۱۳۷۸ توسط نورجو و محمدی در ذرت دانه ای گزارش کردند. گاجری و همکاران (۱۹۹۱)، اثر نوع خاک‌ورزی و رژیم آبیاری طی سه سال کشت گندم در خاک لومی شنی و شنی لومی بررسی و مشخص کردند که آبیاری بلافاصله پس از کاشت و یا خاک‌ورزی عمیق مقاومت خاک و به تبع آن توسعه ریشه تاجی را کاهش داده و نرخ توسعه ریشه در قسمت های زیرین خاک را افزایش داد. آبیاری مکرر، توسعه ریشه را به تاخیر انداخته و اثر خاک ورزی عمیق بر عمق ریشه‌دوانی را خنثی کرد. خاک ورزی عمیق، باعث افزایش چگالی ریشه، کارآیی مصرف آب و عملکرد به میزان ۱۱ الی ۲۰ درصد شد(۷).

هونگیوانگ و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر زیرشکنی تا ۳۰ و ۵۰ سانتی متر به مدت چهار سال بر روی میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و صفات ریشه ای و عملکرد دانه هیبریدهای بهاره ذرت بررسی کردند و گزارش نمودند زیرشکنی در مقایسه با خاک ورزی متداول به طور معنی داری عمق ریشه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه را افزایش داد. همچنین در تیمارهای زیرشکنی میزان جذب عناصر ازت، فسفر و پتاسیم از خاک افزایش یافت. اعمال زیرشکنی به طور متوسط به میزان ۱۲/۸ درصد عملکرد دانه را در مقایسه با خاک ورزی متداول افزایش داد. در بررسی هونگیوانگ و همکاران (۲۰۱۴) هرچند که عمق زیرشکنی تا ۵۰ سانتی متر عمق تاثیر بیشتری بر عملکرد دانه و سایر خصوصیات مورد مطالعه داشت با این حال اختلاف آماری با زیرشکنی تا عمق ۳۰ سانتی متر نداشت(۹). هینگیاو و همکاران(۲۰۱۳) برای بررسی افزایش کارایی مصرف آب و جذب نیتروژن بعد از زیرشکنی در هیبریدهای ذرت در چین به این نتیجه رسیدند که زیرشکنی با شرایط آبی مطلوب باعث افزایش تعداد دانه و عملکرد دانه در همه هیبریدهای مورد مطالعه گردید. همچنین زیر شکنی به طور معنی داری باعث افزایش کارایی مصرف

آب و جذب نیتروژن گردید(۱۰و۱۱).

اوینگ و همکاران (۱۹۹۱) اثر زیر شکنی بر عملکرد ذرت دانه‌ای را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که زیرشکنی عملکرد دانه را ۲۵ الی ۸۶ درصد با توجه به نوع خاک، آیش و پوشش گیاهی خاک افزایش داد(۶). آزمایشاتی که توسط تروکسا (۱۹۹۰) انجام شد نشان داد که در مواردی زیر شکنی باعث کاهش عملکرد دانه ذرت می شود و عملکرد بالای نه تن در صورت انجام خاک ورزی عمیق هنگامی حاصل خواهد شد که از کود مایع نیز استفاده شود(۶). سلیم و همکاران (۱۹۹۰) اثر پشته سازی و زیر شکنی را در مقایسه با عملیات دیسک زنی بر خاک و عملکرد ذرت و یونجه بررسی کردند. زیر شکنی به طور معنی‌داری جرم حجمی ظاهری را کاهش و ذخیره رطوبتی تا عمق ۴۵ سانتی متری را ۱۵ الی ۳۰ درصد افزایش داد. پشته سازی ۶ درصد و زیر شکنی ۲۴ درصد عملکرد ذرت را افزایش داد. آزمون توزیع ریشه هر دو محصول حاکی از آن بود که لایه سخت سطحی به طور جدی توسعه ریشه را محدود می سازد. آنها نتیجه گرفتند که افزایش عملکرد به علت دسترسی بیشتر گیاه به رطوبت و مواد غذایی در نتیجه افزایش حجم ریشه می باشد(۱۳). در بررسی زهی-گاینگ و همکاران (۲۰۱۳) اعمال زیرشکنی باعث افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۲۴/۳ درصد شد(۲۰). از سوی دیگر، بررسی انجام شده در منطقه مغان نشان داد بیشترین چگالی ظاهری خاک در زیر لایه شخم و در حوالی ۳۰ الی ۴۰ سانتی متر خاک مشاهده می شود(۲). بنابراین، با انجام زیرشکنی و سست کردن این لایه، اثرات منفی و محدود کننده مقاومت نفوذی خاک بر گیاه کاهش می یابد. زیرشکنی به علت ذخیره بیشتر آب و توسعه سیستم ریشه ای می تواند از وارد شدن تنش های آبی برگیاه در مواقع کم آبی تا حدودی جلوگیری کند(۷). اثر تنش آب بر عملکرد چند جانبه است. تنش شدید و نسبتاً کوتاه در طول دوره رشد ممکن است اثری بر روی عملکرد نداشته باشد. برعکس تنش آب با شدت کمتر ولی طولانی مدت ممکن است باعث افت شدید عملکرد شود(۳). زمان وقوع تنش خشکی نیز در نوع و میزان خسارات وارده اثرات زیادی دارد(۴).

بر اساس بررسی های بائو و همکاران (۱۹۹۶)، وقوع تنش در مرحله ۱۰ برگی یا تاسل دهی موجب عدم تکامل تاسل ها و به تاخیر افتادن رشد دانه ها می شود.

در این بررسی عملکرد در تنش رطوبتی مرحله سه برگی بالاترین میزان را داشت. در تنش رطوبتی مرحله تاسل دهی میزان عملکرد به حداقل رسید. در تنش رطوبتی بعد از تاسل دهی میزان عملکرد نسبت به شرایط تنش خشکی در مرحله تاسل دهی، افزایش نشان داد(۴).

بلیک و همکاران (۱۹۷۶) تغییرات چگالی ظاهری خاک در یک دوره نه ساله در دو حالت خاک کوبیده شده و کوبیده نشده مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بعد از نه سال بیشترین افزایش چگالی ظاهری خاک در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر یعنی زیر لایه شخم اتفاق افتاده است (۵). مکی (۱۹۸۵) اعلام نمود فشرده شدن ناشی از ۱۵ بار تردد تراکتور، حداکثر عمق ریشه ذرت سیلوئی را تا نصف و عمل تمرکز ریشه را حدود یک سوم کاهش می دهد. این تغییرات موجب تغییرات ذخیره آب در خاک گردیده و باعث کاهش معنی دار عملکرد ذرت سیلوئی گردید(۱۵). باتوجه به مشاهده لایه سخت توسط نگارنده در پژوهش انجام شده در منطقه(۱۳۷۷) و عدم استقبال کشاورزان از انجام شخم عمیق یا زیرشکنی و اهمیت کشت ذرت در منطقه مغان، این تحقیق با هدف بررسی اثرات تیمارهای مختلف‌آبیاری، زیرشکنی و اثرات متقابل آن ها بر روی عملکرد ذرت انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب آزمایش اسپلیت بلوک (استریپ پلات) بر پایه بلوک های کامل تصادفی که تیمار زیر شکنی در سه سطح، بدون زیر شکنی (S_0) و زیرشکنی به عمق ۴۰ (S_1) و۶۰ (S_2) سانتی متر در نوار عمودی و تیمار آبیاری در سه سطح I_1 (آبیاری پس از ۸۰ میلی متر تبخیر از طشتک کلاس A)، I_2 (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی متر تبخیر از طشتک کلاس) و I_3(آبیاری پس از ۱۲۰میلی متر تبخیر از طشتک کلاسA) در نوار افقی در چهار تکرار بر روی هیبرید سینگل کراس۷۰۴ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی مغان اجرا شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول شماره (۱) و اطلاعات هواشناسی منطقه مغان در طی سال های اجرای تحقیق در جدول شماره (۲) آورده شده است.

بر اساس تیمارهای آبیاری، میزان آب آبیاری هر کرت با روش تامین کسر رطوبت خاک تا نقطه ظرفیت زراعی محاسبه و میزان آب داده شده به هر کرت با استفاده از کنتورهای حجمی اندازه گیری و آبیاری اعمال شد.

جهت محاسبه آب آبیاری ابتدا مقدار رطوبت موجود خاک اندازه گیری و با در نظر گرفتن سایر پارامتر های خاک و عمق ریشه گیاه، میزان آب آبیاری با استفاده از فرمول ذیل تعیین می گردد(۱۴).

عمق **خالص آب آبیاری** (**سانتی متر**) $Fn = Pb(FC-CEW) \times D \times MAD$

در این فرمول،CEW، مقدار رطوبت موجود خاک؛ MAD، کاهش رطوبت مجاز؛ Pb، وزن مخصوص ظاهری و D عمق ریشه می باشند.

در محل انجام آزمایش پس از برداشت گندم و جمع آوری کاه و کلش در فاصله اوایل شهریورماه تا اواخر آبان در چندین نقطه از سطح مزرعه نمونه برداری خاک انجام و تیمارهای زیرشکنی با استفاده از زیرشکن سه شاخه رائو در عمق های مورد نظر با تراکتور جاندیر۴۵۶۰ اجرا شد. برای اطمینان از قرارگیری زیرشکن در عمق مورد نظر از چرخ تنظیم عمق استفاده شد. پس از زیرشکنی با استفاده از پروفیل عمق واقعی زیرشکنی تعیین گردید. عرض نوارهای زیرشکنی در حدود ۴ متر و طول نوارها با احتساب حاشیه‌ها حدوداً ۵۰ متر بود. اواخر دی ماه کل قطعه با استفاده از گاوآهن برگردان دار به عمق حدود ۲۵ -۳۰ سانتی متر شخم زده شده و از اواسط اسفند ماه کودپاشی، دیسک زنی و لولرزنی انجام گرفته و اوایل اردیبهشت ماه سال بعد کاشت انجام شد.

جهت تعیین قطر متوسط وزنی کلوخه ها میزان خردشدگی خاک با ادوات خاک ورز اولیه و ثانویه با استفاده از جداسازی خاک به کمک غربال تعیین شد. برای نمونه‌گیری از یک قاب به ابعاد ۰۵ × ۵۰ سانتی متر و تا عمق ۱۵-۰ سانتی متر و بطور تصادفی ار هر کرت دو بار انجام گردید. سپس در آزمایشگاه نمونه‌ها الک شده و وزن کلوخه های روی هر یک از الک ها، خاک عبور کرده از الک پایینی و قطر کلوخه‌های روی الک بالایی یاداشت شده و در نهایت با استفاده از فرمول زیر میانگین وزنی قطر کلوخه محاسبه شد(۱و۱۸).

معادله ۱-

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \frac{Wi}{W} \times Di$$

Wi= وزن خاک خرد شده بر روی غربال (برحسب کیلوگرم)، W= وزن کل خاک خردشده در هر نمونه گیری (برحسب کیلوگرم) و Di= قطر متوسط شبکه غربال مورد نظر (برحسب سانتی‌متر)

برای اندازه گیری شاخص مخروط از پنترومتر با زاویه مخروط ۶۰ درجه استفاده شد. به منظور بررسی تغییرات این پارامتر در تیمارهای مختلف بعد از اولین آبیاری از هر پلات ۵ نفوذ تا عمق

۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری و اعداد قرائت شده از عمق های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی متر را در دو مرحله، قبل و پس از اعمال تیمارهای زیرشکنی بصورت ۱۰ سانتی‌متر میانگین‌گیری کرده و مقایسه شد. همچنین شاخص نفوذپذیری به روش رینگ مضاعف پس از اعمال تیمارهای زیرشکنی اندازه گیری شد(۸).

کاشت هیبرید سینگل کراس۷۰۴ در۴ خط با ۳۴ بوته به فاصله ۱۸ سانتی متر روی هر خط به صورت دستی در اواخر اردیبهشت ماه هر سال انجام شد که با احتساب ۷۵ سانتی متر فاصله خطوط کاشت، تراکم کشت ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار بود (ابعاد هر کرت ۳×۶متر). برداشت فقط از دو خط وسط هر کرت به مساحت ۹/۱۸ متر مربع در اواخر شهریور ماه هر سال انجام شد. از زمان کاشت تا برداشت ضمن انجام مراقبت های زراعی از قبیل آبیاری (آبیاری بر اساس تیمارهای در طول دوره رشد انجام گرفت)، وجین و مبارزه با علف‌های هرز و آفات و بیماری ها و صفات ارتفاع بوته و بلال، تعداد دانه درردیف و ردیف در بلال و وزن هزار دانه ثبت شد. جهت تعیین صفات فوق، تعداد ۱۰ بوته تصادفی و رقابتی در هر کرت انتخاب شد. در زمان رسیدن نسبت به برداشت دو خط وسط و تعیین درصد رطوبت دانه اقدام شد. در نهایت محاسبات آماری بر اساس ۱۴٪ رطوبت دانه برداشتی از دو خط وسط هر کرت انجام گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف زیرشکنی و آبیاری نشان داد که از نظر عملکرد دانه بین سطوح مختلف زیرشکنی و رژیم‌های مختلف آبیاری اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. همچنین تجزیه واریانس سایر صفات مورد مطالعه نشان داد از نظر صفات تعداد دانه در ردیف، ارتفاع بوته و بلال اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۱٪ در بین تیمارهای مختلف زیرشکنی مشاهده گردید ولی از نظر صفات تعداد دانه در ردیف و وزن هزار در بین تیمارهای مختلف زیرشکنی اختلاف آماری معنی دار وجود نداشت. در بین تیمارهای آبیاری از نظر صفات ارتفاع بوته و بلال در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشت اما از نظر صفات تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه و وزن هزار دانه اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نگردید(جدول ۳).

مقایسه میانگین عملکرد دانه بیانگر آن است که تیمارهای زیرشکنی به عمق ۶۰ و ۴۰ سانتی متر به ترتیب با ۱۲/۵۰۴ و ۱۲/۲۹۹ تن در هکتار بالاترین عملکرد را به خود اختصاص دادند که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و پایین ترین عملکرد مربوط به تیمار بدون زیرشکنی با ۱۱/۱۴۷ تن در هکتار بود که با دو تیمار دیگر متفاوت است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که زیرشکنی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته اما عمق زیرشکنی بی تاثیر بوده است(جدول ۴).

مقایسه میانگین عملکرد دانه در رژیم های مختلف آبیاری بیانگر این است که در تیمارهای آبیاری I_2(آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر از طشتک) و I_1 (آبیاری پس از ۸۰ میلیمتر تبخیر از طشتک) به ترتیب با ۱۲/۶۸ و ۱۲/۴۹ تن در هکتار بالاترین عملکرد و تیمار I_3(آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از طشتک) با ۱۰/۷۸ تن در هکتار کمترین عملکرد را داشتند (جدول ۵). نتیجه قابل توجه اینکه در صورت کمبود آب و افزایش فاصله آبیاری کارآیی زیرشکنی نیز بالاتر بوده، به طوری که در رژیم آبیاری I_2 زیرشکنی به عمق ۶۰ سانتی متر نسبت به تیمار بدون زیرشکنی ۲۱/۲۳ درصد افزایش عملکرد داشته است در صورتی که این افزایش در رژیم آبیاری I_1 تنها ۳/۰۵ درصد بوده است (جدول ۶). علیرغم معنی دار نبودن اثر متقابل زیرشکنی و رژیم های آبیاری مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه نشان دادکه بالاترین عملکرد مربوط به تیمار S_2I_2 با میزان ۱۳/۸۴تن در هکتار بود و تیمار های S_1I_1 و S_2I_1 به ترتیب با میزان ۱۳/۰۴ و ۱۲/۷۹ تن در هکتار در رتبه های بعدی قرار گرفتند. کمترین عملکرد از تیمار S_0I_3 با میزان ۹/۹۹ تن در هکتار بدست آمد که نشان دهنده تاثیر عدم زیرشکنی بر کاهش عملکرد است(جدول ۷).

در تحقیقی که به مدت دو سال در شرایط آب وهوایی میاندوآب بر روی ذرت در دورهای مختلف آبیاری(۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۱ روز) و سطوح مختلف زیرشکنی(سطوح زیرشکنی به عمق های ۵۵ و ۴۵ سانتی متر و بدون زیرشکنی) توسط نورجو و محمدی (۱۳۸۷) انجام گرفت، نشان داد افزایش دور آبیاری موجب کاهش عملکرد ولی اعمال زیرشکنی موجب افزایش عملکرد شدند. به طوری که کاربرد زیر شکن اثر منفی افزایش دور آبیاری را کاهش داد و با کاهش مصرف آب موجب بهبود بهره وری مصرف آب شد(۱۷). در بررسی جیان و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد در مناطق خشک اعمال زیرشکنی به خصوص در سال کم آب باعث افزایش معنی دار عملکرد دانه ذرت گردید(۱۳). همچنین در بررسی زهی-گاینگ و همکاران (۲۰۱۳) اعمال زیرشکنی باعث افزایش کارایی مصرف آب ۲۴/۳ درصدی شد. نتایج مشابهی توسط هونگیوانگ و همکاران (۲۰۱۴)، زهی-گاینگ و همکاران (۲۰۱۳)، هینگیاو و همکاران (۲۰۱۳) و جیمز و همکاران (۱۹۸۷) گزارش شده ست که با نتایج این قسمت از تحقیق حاضر مطابقت دارد (۹، ۱۰، ۱۲، ۲۰).

تجزیه واریانس شاخص مخروط نشان داد اختلاف بین سطوح مختلف زیرشکنی در عمق های ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰ و ۴۰-۵۰ سانتی متر از نظر آماری معنی داری بوده، در حالی که اختلاف آماری معنی داری بین سطوح مختلف زیرشکنی در عمق های ۰-۱۰،۵۰-۶۰ و ۶۰-۷۰ مشاهده نشد(جدول۸)، که این نشانگر تاثیر مثبت زیرشکنی در کاهش این شاخص است.

مقایسه میانگین های شاخص مخروط تیمارهای مختلف نشان داد که در عمق های ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰و ۴۰-۵۰ سانتی متری تیمار بدون زیرشکنی با بالاترین میزان شاخص مخروط در کلاسی متفاوت از دو تیمار دیگر زیرشکنی قرار داشت (شکل ۱). اما در عمق ۳۰-۴۰ سانتی متر هر سه تیمار در کلاس های متفاوت قرار گرفتند که تیمار زیرشکنی به عمق ۶۰ سانتی متر با کمترین مقدار در وضعیت بهتری قرار داشت. در صورتی که در عمق ۵۰-۶۰ تفاوت معنی داری بین تیمارهایS1 وS2 دیده نشد و این نشان دهنده آن است که لایه سخت در عمق ۳۰-۴۰ بوده و هر دو تیمار زیرشکنی باعث از بین رفتن این لایه شده اند. همچنین مقایسه میانگین بیانگر آن است در عمق های بالای ۵۰ سانتی متر تیمارهای زیرشکنی تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند، علت این امر به دلیل عمق عملی زیرشکنی کمتر از ۶۰ سانتی متر در تیمار S2 است (به علت محدودیت توان تراکتوری عمق زیرشکنی در تیمار S2 عملاً بین ۴۷ و ۵۸ سانتی متر متغییر بوده است). که این، با عدم تفاوت عملکرد بین تیمارهایS1 و S2 هم خوانی دارد (شکل۲). تجزیه واریانس شاخص مخروط قبل از اعمال تیمارهای زیرشکنی بیانگر آن است که این شاخص در عمق های مختلف دارای تفاوت معنی داری بوده است. اندازه گیری شاخص نفوذپذیری به روش رینگ مضاعف پس از اعمال تیمارهای زیرشکنی و تهیه زمین نشان داد که زیرشکنی باعث افزایش نفوذ پایه گردیده و میزان نفوذ در تیمار زیرشکنی به عمق ۶۰ سانتی متر(با ۱/۲۳ سانتی متر در ساعت) بیشتر از نفوذ پایه نسبت به تیمار زیرشکنی به عمق ۴۰ سانتی متر(با ۱ سانتی متر در ساعت) بوده است (جدول۹). نتایج این قسمت از تحقیق حاضر با نتایج خلیلی و محمدی (۱۳۸۱) و نورجو و محمدی (۱۳۷۸) که اعلام نمودند استفاده از زیرشکن، مقاومت نفوذی خاک را کاهش می دهد و بیشترین میزان کاهش مقاومت نفوذی خاک در عمق ۲۰ سانتی متری است، مطابقت داشت.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد سطوح مختلف زیرشکنی و آبیاری به طور معنی داری عملکرد دانه را در ذرت تحت تاثیر قرار می دهد. به طوری که تیمارهای زیرشکنی در عمق های ۶۰ و ۴۰ سانتی متری به ترتیب با عملکرد دانه ۱۲/۳ و ۱۲/۵ تن در هکتار عملکرد دانه بالاتری نسبت به تیمار بدون زیرشکنی با عملکرد دانه ۱۱/۱ تن در هکتار داشتند. نکته دیگر اینکه مقایسه میانگین سطوح زیرشکنی برای عملکرد دانه نشان داد که سطوح زیرشکنی به عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی متر از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. پس می توان نتیجه گیری کرد هرچند زیرشکنی به طور معنی داری باعث افزایش عملکرد دانه می شود ولی عمق زیرشکنی تاثیر معنی داری در افزایش محصول ذرت نداشت. عمق زیرشکنی ۶۰ سانتی متری نیاز به انرژی زیادی دارد که تراکتورهای متعارف توان تامین آن را ندارند. با این حال چون اختلاف عملکرد دانه بین عمق زیرشکنی ۶۰ سانتی متری با عمق زیرشکنی ۴۰ سانتی متری معنی دار نیست. بنابراین براساس نتایج این تحقیق برای زراعت ذرت انجام زیرشکنی خاک به عمق ۴۰ سانتی متر به جای زیرشکنی خاک به عمق ۶۰ سانتی متر پیشنهاد می شود. نتایج یافته های این قسمت از تحقیق در انطباق کامل با یافته های تحقیق خلیلی و همکاران (۱۴)بود. براساس نتایج خلیلی و همکاران (۱۳۸۱) اعمال زیرشکنی باعث بهبود خواص فیزیکی خاک و کاهش مقاومت نفوذی خاک می شود. همچنین، در منابع مختلف اثر منفی تراکم خاک (چه بر اثرتردد ماشین یا به صورت طبیعی) در محصولات مختلف از جمله ذرت نشان داده است. در این مطالعه نیز تاثیر مثبت زیرشکنی خاک بر بهبود صفات مختلف محصول و کاهش مقاومت به نفوذ خاک لومی سیلتی ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی مغان مشاهده گردید.

نکته قابل توجه دیگر این است که کارآیی زیرشکنی در افزایش عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر از طشتک در مقایسه با تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلیمتر تبخیر از طشتک به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. به طوری که در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر، زیرشکنی به عمق ۶۰ سانتی متر نسبت به تیمار بدون زیرشکنی باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۲۱/۲۳درصد گردید. در صورتی که این افزایش در تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلیمتر فقط ۳/۰۵ درصد بود. بنابراین می توان گفت زیرشکنی با بالا بردن کارآیی مصرف آب، تهویه مناسب و بهبود خواص فیزیکی خاک باعث افزایش عملکرد دانه شده است. به عبارت دیگر زیرشکنی با افزایش نفوذپذیری ریشه در اعماق خاک از مقدار آب مصرفی به مقدار قابل توجهی می کاهد و از این طریق باعث افزایش کارآیی مصرف آب می شود. این نتیجه بیانگر این واقعیت است که در مناطقی که با محدودیت آبیاری مواجه هستند، زیرشکنی خاک اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد.

توصیه و پیشنهادات

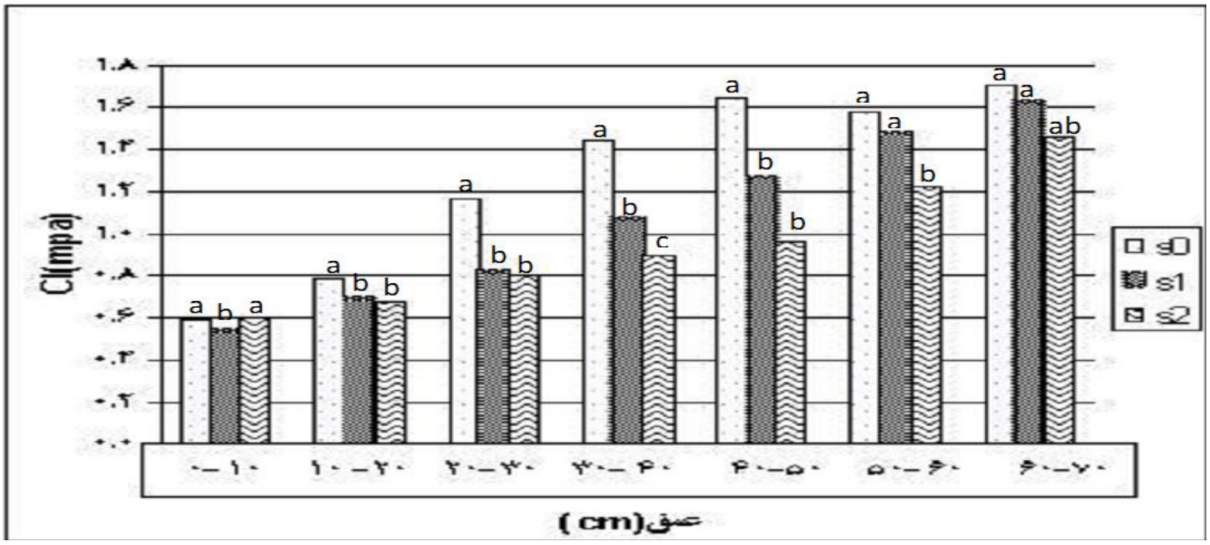
با توجه به بررسی به عمل آمده موارد زیر که می تواند در جهت کاهش تراکم خاک های زراعی و افزایش عملکرد محصول موثر باشد توصیه می گردد:

۱- توصیه می‌شود با بکارگیری روش های کنترل تردد، انجام صحیح عملیات زراعی و در رطوبت مناسب خاک، افزایش میزان مواد آلی خاک، از تراکم خاک های زراعی جلوگیری شود.

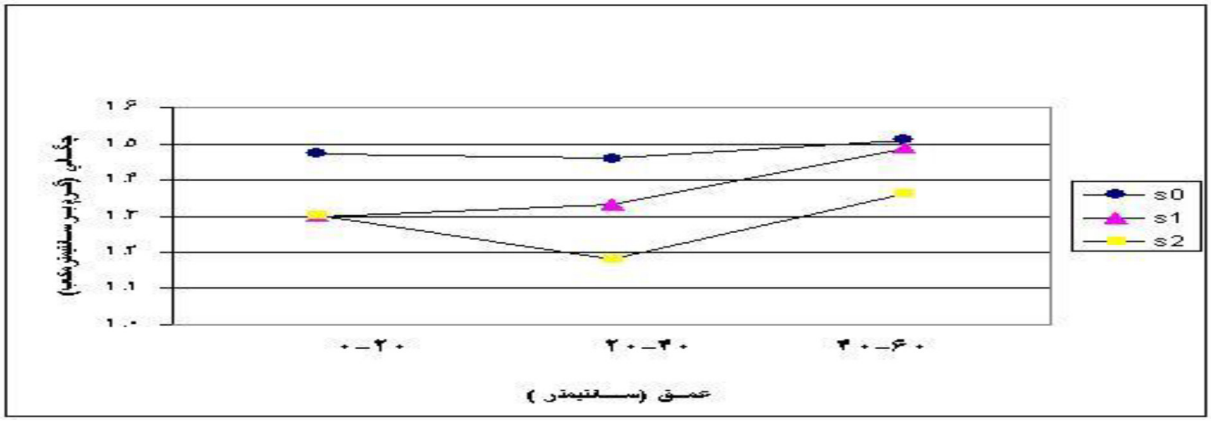
۲- با توجه به نتایج بدست آمده توصیه می‌شود در صورت وجود تراکم در لایه‌های خاک مزرعه جهت افزایش عملکرد و افزایش کارآیی مصرف آب، زیرشکنی خاک انجام گردد.

۳- با توجه به افزایش مصرف انرژی در تیمار زیرشکنی به عمق ۶۰ سانتی‌متر و نیاز به تراکتور پرقدرت، زیرشکنی در عمق حدود ۴۰ سانتی متر انجام گیرد.

۴- پیشنهاد می شود طرح مشابهی برای تناوب رایج منطقه اجراء شود.



شکل (۱) : نمودار میانگین شاخص مخروط لایه های خاک پس از اعمال تیمارهای زیرشکنی



شکل (۲): نمودار میانگین چگالی ظاهری لایه های خاک پس از اعمال تیمارهای زیرشکنی

جدول ۱- نتایج آزمایش تجزیه خاک

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک						
بافت خاک	نقطه پژمردگی (اتمسفر)	ظرفیت زراعی (اتمسفر)	اسیدیته	هدایت الکتریکی(ds/m)	آنیون های محلول(میلی اکی والان بر لیتر)	کاتیون های محلول(میلی اکی والان بر لیتر)
لومی رسی	۱۵/۹۶	۲۵/۴۲	۷/۲	۱	۱۰/۲۸	۱۲/۴

جدول ۲- آمار هواشناسی در سال های زراعی مورد آزمایش

سال زراعی	۸۳-۸۲		۸۴-۸۳		۸۵-۸۴	
ماه	میزان بارندگی (میلیمتر)	میزان تبخیر(میلیمتر)	میزان بارندگی (میلیمتر)	میزان تبخیر(میلیمتر)	میزان بارندگی (میلیمتر)	میزان تبخیر(میلیمتر)
مهر	۹/۵	۷۷	۳۵/۶	۷۸/۱	۷/۹	۸۸/۳
آبان	۶۳/۹	۳۰/۹	۴۱/۷	۲۷/۳	۴۴/۲	۲۴/۶
آذر	۲۰/۴	۲/۶	۳۳/۳	۳/۸	۷/۷	۱
دی	۶/۷	-	۷/۹	-	-	-
بهمن	۲۰/۱	-	۱۶/۳	-	-	-
اسفند	۱۹/۳	۱۰۲/۵	۵/۳	-	۱۲/۶	۰
فروردین	۳۰/۷	۳۰/۷	۴۴/۲	۴۴/۸	۳/۷	۴۸/۹
اردیبهشت	۹۰	۹۰	۴۴/۴	۱۲۲	۳۴/۵	۱۰۱/۲
خرداد	۶۳/۱	۱۶۲	۱/۸	۲۰۲/۱	۰	۲۳۹/۴
تیر	۵/۷	۲۲۷/۹	۱/۵	۲۴۷/۸	۶/۵	۲۵۱/۸
مرداد	۶/۱	۲۶۷/۸	۷/۰	۱۵۵/۱	۹/۲	۲۱۸/۸
شهریور	۳۶/۵	۱۶۶/۳	۳/۲	۸۸/۳	۲۱/۱	۱۴۴/۷

جدول ۳- میانگین مربعات(MS)[1] تجریه واریانس مرکب سه ساله صفات زراعی مورد مطالعه در سطوح مختلف زیرشکنی و آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	ارتفاع بوته	ارتفاع بلال از سطح زمین	تعداد ردیف دانه	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه
سال	۲	۲۸۱/۸۲۷**	۷۸۴۹/۶۹۴**	۴۸۱/۹۴۱ n.s	۵/۲۱۴ n.s	۱۲۴۹/۶۸۹**	۱۴۸۲/۵۰۳ n.s
سال / تکرار	۹	۴/۰۴۱	۲۷۱/۴۶۳	۱۲۹/۸۶۳	۰/۹۱۳	۳۷/۳۳۵	۱۵۸۳/۶۷۸
تیمار های زیر شکنی	۲	۴۳/۱۰۷**	۱۴۴۰/۳۱۱**	۹۲۷/۶۱۹**	۱/۰۸۴ n.s	۱۷۹/۹۲۷**	۹۸۹/۷۲۵ n.s
سال * تیمار های زیر شکنی	۴	۲/۱۲۵ n.s	۱۷۱/۸۶۵ n.s	۲۰۴/۴۰۷*	۰/۳۰۲ n.s	۴۰/۶۶۹ n.s	۱۷۱۹/۹۱۹ n.s
خطای A	۱۸	۲/۳۸۸	۲۱۹/۵۵۴	۵۳/۷۸۸	۰/۵۷۸	۱۵/۳۰۷	۱۲۷۵/۳۸۹
ژریم های آبیاری	۲	۲۸/۱۱۹**	۱۶۳۷/۱۵۹**	۵۰۲/۸۰۲**	۱/۲۸۸ n.s	۲۹/۳۴۱ n.s	۱۶۵۶/۸۰۱ n.s
ژریم های آبیاری * سال	۴	۱/۷۶۷*	۶۷۹/۰۵۹**	۱۲۲/۹۵۴ n.s	۰/۰۶۷ n.s	۲۶/۱۶۷ n.s	۲۲۱۵/۸۳۰ n.s
خطای B	۱۸	۰/۶۰۴	۱۳۱/۲۳۸	۵۱/۹۳۷	۰/۵۵۶	۱۹/۴۱۹	۱۵۶۱/۸۹۹
آبیاری * زیر شکنی	۴	۰/۷۳۲ n.s	۱۰۱/۸۹۶ n.s	۷۶/۹۷۲ n.s	۰/۷۲۹ n.s	۹/۹۲۷ n.s	۱۵۹۹/۶۸۶ n.s
خطای C	۴۴	۰/۷۴۶	۶۴/۲۸۹	۴۲/۵۸۹	۰/۶۹۶	۱۲/۰۶۷	۱۴۷۹/۸۷۷
C.V.%	-	۹/۶۸	۴/۷۹	۷/۳۱	۵/۴	۹/۴۲	۱۲/۵۲

(۱) با توجه به اینکه اثر متقابل سه جانبه (آبیاری * زیر شکنی * سال) در کلیه صفات غیر معنی دار بود، بنابراین واریانس این اثر با خطای C ادغام گردید؛ *، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار.

جدول(۴): مقایسه میانگین سطوح مختلف زیرشکنی براساس صفات مختلف ذرت در سطح احتمال ۵٪

تیمارهای زیرشکنی	عملکرد دانه (تن در هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	ارتفاع بلال (سانتی متر)	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف دانه	وزن هزار دانه (گرم)
S_0	۱۱/۴۷ b	۱۸۰/۳۳ a	۸۸/۷۵ a	۴۱/۵۸b	۱۴/۹۲ a	۳۰۰/۷۹a
S_1	۱۲/۳۰ a	۱۸۷/۸۳a	۹۰/۵۰a	۴۴/۸۵a	۱۵/۱۵a	۲۹۹/۲۴a
S_2	۱۲/۵۰ a	۱۸۴/۳a	۸۹/۲۵a	۴۴/۳۷a	۱۴/۹۵a	۳۱۲/۶a
LSD5%	۰/۸	۷/۷۴	۵/۲۳	۲/۳۶	۰/۸	۱۵/۸۸

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

جدول (۵) : مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری براساس صفات مختلف ذرت درسطح احتمال ۵٪

تیمارهای آبیاری	عملکرد دانه (تن در هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	ارتفاع بلال (سانتی متر)	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف دانه	وزن هزار دانه (گرم)
I_1	۱۲/۴۹a	۱۸۵/۴۲a	۹۲/۵۰a	۴۳/۳a	۱۵/۲۳a	۳۱۲/۵۹a
I_2	۱۲/۶۸a	۱۹۰/۵۸a	۹۰/۷۵ab	۴۴/۵۵a	۱۴/۸۳a	۲۹۹/۲۸a
I_3	۱۰/۷۸b	۱۷۷b	۶۶/۵۰b	۴۲/۹۵a	۱۴/۹۵a	۳۰۰/۶۶a
LSD5%	۱/۵۷	۷/۸	۷/۱	۳/۳	۰/۵۱	۳۰/۴۲

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

جدول (۶) : مقایسه درصد افزایش عملکرد دانه در زیرشکنی های ۴۰ و ۶۰ نسبت به تیمار بدون زیرشکنی در رژیم های مختلف آبیاری (ارقام به تن در هکتار)

تیمارهای آبیاری	S_0	S_1	S_2	درصدافزایش عملکرد S_1 نسبت به S_0	درصد افزایش عملکرد S_2 نسبت به S_0
I_1	۱۲/۰۳a	۱۳/۰۴a	۱۲/۷۹b	۸/۴۰	۳/۰۵
I_2	۱۱/۴۱b	۱۲/۷۹a	۱۳/۸۴a	۱۲/۱۰	۲۱/۲۳
I_3	۹/۹۹c	۱۱/۰۶b	۱۱/۲۸c	۱۰/۶۸	۱۲/۷۹

جدول (۷): مقادیر کارایی مصرف آب مصرف آب تیمارهای مختلف آبیاری و زیرشکنی

تیمارها	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	مقادیر آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)	مقادیر آب بارندگی (متر مکعب در هکتار)	مقادیر کل آب مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در هکتار)
I_1S_0	۱۲۰۳۰c	۶۳۷۹/۷	۳۸۰	۶۷۵۹/۷	۱/۷۸۰
I_1S_1	۱۳۰۴۰b	۶۳۷۹/۷	۳۸۰	۶۷۵۹/۷	۱/۹۳۰
I_1S_2	۱۲۷۹۰b	۶۳۷۹/۷	۳۸۰	۶۷۵۹/۷	۱/۸۳۴
I_2S_0	۱۱۴۱۰cd	۵۵۶۵/۷۳	۳۸۰	۵۹۵۴/۷۳	۱/۹۱۷
I_2S_1	۱۲۷۹۰b	۵۵۶۵/۷۳	۳۸۰	۵۹۵۴/۷۳	۲/۱۴۰
I_2S_2	۱۳۸۴۰a	۵۵۶۵/۷۳	۳۸۰	۵۹۵۴/۷۳	۲/۳۲۳
I_3S_0	۹۹۹۰e	۴۸۹۸/۹	۳۸۰	۵۲۷۸/۹	۱/۸۹۳
I_3S_1	۱۱۰۶۰d	۴۸۹۸/۹	۳۸۰	۵۲۷۸/۹	۲/۰۹۶
I_3S_2	۱۱۲۸۰d	۴۸۹۸/۹	۳۸۰	۵۲۷۸/۹	۲/۱۳۶

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

جدول (۸): میانگین مربعات(MS)(۱) تجزیه واریانس مرکب سه ساله شاخص مخروط در سطوح مختلف زیرشکنی و آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات عمق های مختلف						
		۱۰-۰	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	۴۰-۳۰	۵۰-۴۰	۶۰-۵۰	۷۰-۶۰
سال	۲	۰/۶۱۶ ns	۰/۳۴۰ ns	۰/۳۲۵ ns	۳/۷۸۶ ns	۲۹/۱۷۲**	۹۰/۲۰۵**	۱۶۴/۳۱۸**
سال / تکرار	۹	۰/۱۴۹	۰/۱۹۷	۰/۷۴۹	۰/۸۱۴	۱/۰۹۰	۰/۹۹۲	۱/۰۷۰
تیمار های زیر شکنی	۲	۰/۲۵۴ ns	۰/۸۵۷*	۴/۰۸۴**	۷/۲۶۸**	۴/۷۰۴*	۱/۲۴۷ ns	۰/۵۴۳ ns
سال * تیمار های زیر شکنی	۴	۰/۰۱۵ ns	۰/۵۳ *	۱/۴۹۰ ns	۴/۱۷۴*	۳/۶۳۳*	۰/۹۷۳ ns	۰/۰۸۱ ns
خطای A	۱۸	۰/۱۰۵	۰/۲۰۰	۰/۶۰۰	۰/۶۶۸	۰/۷۹۳	۰/۷۱۲	۰/۲۵۱
ژریم های آبیاری	۲	۰/۶۳۴**	۰/۹۸۹**	۱/۳۷۶ ns	۱/۲۹۲ ns	۱/۴۸۱ ns	۱/۳۰۹ ns	۰/۸۵۷ ns
ژریم های آبیاری * سال	۴	۰/۸۵۸**	۲/۳۳۷**	۵/۱۱۳**	۷/۲۱۷**	۲/۷۱۴*	۱/۵۵۱ ns	۱/۸۱۲*
خطای B	۱۸	۰/۰۶۴	۰/۱۰۹	۰/۵۵۷	۰/۷۸۱	۰/۶۷۷	۰/۴۲۱	۰/۲۶۵
آبیاری * زیر شکنی	۴	۰/۰۶۲ ns	۰/۱۴۳ ns	۰/۲۰۵ ns	۰/۳۰۱ ns	۰/۲۲۳ ns	۰/۰۶۹ ns	۰/۱۷۲ ns
خطای C	۴۴	۰/۰۴۳	۰/۰۷۹	۰/۲۱۶	۰/۳۹۹	۰/۴۲۱	۰/۲۹۴	۰/۲۱۰
C. V. %	-	۲۲/۱۶	۱۹/۹۴	۲۲/۶۲	۲۳/۵۴	۲۰/۱۴	۱۴/۸۱	۱۱/۳۵

(۱) با توجه به اینکه اثر متقابل سه جانبه (آبیاری * زیر شکنی * سال) در کلیه عمق ها غیر معنی دار بود، بنابراین واریانس این اثر با خطای C ادغام گردید.؛ *، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار

جدول (۹) : مقایسه نفوذپذیری خاک در تیمارهای مختلف زیرشکنی

تیمار	معادله نفوذ	ضریب تبیین R^2	نفوذ پایه (Cm/hr)
S_0	$D=0.26\ t^{0.46}$	۰/۹۵	۰/۳۲
S_1	$D=0.25\ t^{0.6}$	۰/۹۸	۱
S_2	$D=0.78\ t^{0.49}$	۰/۹۷	۱/۲۳

منابع مورد استفاده

1. Adam, K. M. and Erbach, D. (1992) Secondary tillage tool effect on soil aggregation. Trans. ASAE, 35(6): 1771-1776.
2. Akhavan, K. and Sepaskhah, A. (1999) Investigate changes in soil bulk density of agricultural operations in the plain lands Moghan. M. S. Seminar Shiraz University.
3. Ariy, J. M. (1987) Corn and corn Improvement. Academic press Inc. Newyork, P721.
4. Bao, J. S., and Hao, Y. C. (1991) The effect of water stress during different growth periods of maize on its physiological characteristics. Aca-Agronomicasinica, 17(4): 261-266.
5. Blake, E. R., Nelson, W. W. and Allmaras R. R. (1996) Persistence of subsoil compaction in Mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J,40:943-948.
6. Ewing, P. and Randwagger, M. G. (1991)Tillage and crop cover management effects on soil water and corn yield. Soil Science,55(4):1081-1085.
7. Gajri,P. R. , Prihar, S. S. , Cheema, H. S. and Poor, A. (1991) Irrigation and tillage effects on root development ,water use and yield of wheat on coarse textured soils. Irrigation Science, 12(3):161-168.
8. Hemat, A. (2009) Reduction in primary tillage depth and secondary tillage intensity for irrigated canola production in a loam soil in center Iran. J. Agric. Sci. Technol., 11:275-288.
9. 9-Hengyu H., Tangyuan N., Zengjia L., Huifang H., Zongzheng Z., Shujun Q., Yanhai Z. (2013) Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen- water use and yield of different varieties of maize in northern China. Field Crops Research, 142: 85-94.
10. Hongguang C.,Wei M., Xiuzhi Z., Jieqing P., Xiaogong Y., Jianzhao L., Jingchao Y., Lichun W. and Jun R. (2014) Effect of subsoil tillage depth on nutrient accumulation, root distribution, and grain yield in spring maize. The Crop Journal, 2: 297-307.
11. Hu, H., Tian, S., Zhong, W., Li, Z., Ning, T., Wang, Y. and Zhang, Z. (2011) Effects of subsoiling and urea types on water use efficiency of different maize cultivars. Scientia Agricultura Sinica, 44: 1963-1972
12. James, E., Box J., and Langdale, G.W. (1987) The effects of in-row subsoil tillage and soil water on corn yields in the southeastern coastal plain of the United States. (84)90017-5 0167
13. Jian, G., Guang, H.Y., Liang H., Pei F.C., Gui F. L., and Zuo X.L. (2013) Effect of Subsoiling Cultivation on Corn in Semi-Arid Region of Western Liaoning Province. Advanced Materials Research, 750-752, 2348
14. Khalili, M. and Mohammadi, H. (2003) Effect of application of sub soiling and different periods of irrigation on corn yield (S. C. 704). Final Report Agricultural Research Center of West Azerbaijan.
15. Mckeys, E. (1985) Soil cutting and tillage. Elsevier Puplisher, Newyork.
16. Mohamed Saleem, M. A. and Adeoye, K. B. (1990) Comparison of effects of some tillage methods on soil physical properties and yield of maize and stylo in a degraded ferruginous tropical soil. Soil and Tillage Research, 18(1):63-72.
17. Nourjou, A., and Mohammadi H. (1387) Effect of irrigation duration and subsoiling depth on maize grain yield (SC704). National Conference on Irrigation and Drainage Networks.
18. Smith, D. A. , Smis B. G. and Oneil D. H. (1994) Testing and Evaluation of Agricultural Machinery and Equipment. FAO Pub.
19. Truksa, J. (1990) Deep loosening and liquid manure application during grain maize growing. Rostlinna Vyroba, 36(7): 699-706.
20. Zhi-qiang, T., Peng S., Yuan-quan, C., Chao L., Zi-jin, N., Shu-fen, Y., Jiangtao, S., and Wang-sheng, G. (2013) Subsoiling and Ridge Tillage Alleviate the High Temperature Stress in Spring Maize in the North China Plain. Journal of Integrative Agriculture, 12(12):2179–2188.